

Chemische Technik im Gebiet der fünften Dezimale^{*)}

Von Prof. Dr.-Ing. KARL QUASEBART, Direktor der Auergesellschaft Berlin

Eingeg. 27. Juli 1937

Als Ihr Vorstand mich aufforderte, in dieser festlichen Stunde zu Ihnen über die Technik im Bereich der fünften Dezimale zu sprechen, habe ich mir aus meiner eigenen Umwelt heraus etwas zurechtgezimmert, was dem entsprechen könnte. Als ich dann die ganze Vortragsreihe Ihrer Tagung überblicken konnte, erschrak ich; denn ich fand Namen, deren Träger, gestützt auf ihre eigene große Forschererfahrung, weit eher berufen gewesen wären, jetzt an dieser Stelle zu stehen. Ich mußte dann weiter feststellen, daß Themen behandelt werden, die sicher als Teilgebiete des mir zugewiesenen Gegenstandes anzusehen sind, und so sah ich meine Aufgabe darin, ein kleines Vorspiel für die wissenschaftliche Tagung zu liefern. Erst wenn sich danach der Vorhang hebt, kommen die wirklichen Akteure, beginnt die Handlung.

Die Technik der fünften Dezimale ist keineswegs ein durch eine bestimmte Arbeitsweise festumrissenes Gebiet; ebensowenig aber handelt es sich um eine bloße Wortbildung, geschaffen, um einen Vortragstitel zu gewinnen. Sie besteht, sie ist weit verzweigt, aber nicht einheitlich abgegrenzt. Sie ist sozusagen das Umkehrverfahren der Spurensuche, das verdichtete Nichts, aus dem Werte geschaffen würden und werden. Man darf sagen, große Werte, wobei es gleichgültig ist, was man gerade unter Wert verstanden wissen will, geistige Leistungen, hohe Dividenden oder Veränderungen im Bezirke der Kultur und Zivilisation. Diese Technik ist nicht nur die Kunst, das Nichts so lange anzureichern, bis daraus ein brauchbares Etwas geworden, sondern auch die, durch Hinzufügung einer Spur völlige Wesenswandlungen im Stofflichen zu vollbringen, also Wertschaffung aus dem Nichts, wie auch aus seiner richtigen Verteilung. Erstaunlich, daß die Finanzminister unserer Zeit nicht in die hohe Schule dieser Technik geschickt werden.

In dem halben Jahrhundert, in dem nun der Verein Deutscher Chemiker aufs innigste mit der Entwicklung der deutschen Chemie verbunden ist, spielen die Analyse, die Erforschung der Materie und Synthese, und der Aufbau der Materie aus ihren Elementen eine so überragende Rolle, daß es kaum noch möglich ist, hierzu etwas zu sagen, was dieser Stunde würdig wäre, worauf nicht schon das ganze Augenmerk der Fachwelt wie der breiten Öffentlichkeit sich gerichtet hätte. Nicht ganz so in der Blickrichtung aller — aber, wie ich zu zeigen hoffe, ebenso stark verbunden mit der Geschichte des VDCh — hat sich in der gleichen Zeit aus den Keimen heraus eine andere technische Entwicklung zu bereits beachtenswerter Höhe vollzogen, die, um das Wort *Waldens* zu gebrauchen, von der „Überchemie“ ausgeht¹⁾. Gespenstisch wies die Spurensuche auf das Vorhandensein von Materie hin, deckte Eigenschaften von Dingen auf, die nicht greifbar waren, die gleichsam als Mythos der Wissenschaft ein ewig sagenhaftes Dasein führen sollten. Schätze lagen im Verborgenen, zwar nicht von Drachen bewacht, aber von einer Tarnkappe unsichtbar gemacht. Da wandte sich die Chemie zunächst an ihre Schwester, die Physik, die man oft als die klügere, saubere bezeichnet, um Waffenhilfe. Sie gewährte sie, indem sie Lichtwaffen mit Mikroskop und

Spektroskop, dann die elektrischen und Strahlenmeßmethoden zur Verfügung stellte. Beide haben dieses Waffenbündnis nicht zu bedauern; die Chemie konnte die Lücken in den Reihen der Elemente auffüllen, lernte Stoffe von wunderbaren Eigenschaften kennen und technisch nutzen, die Physik errichtete gleich einen völligen Neubau, vereint drangen sie in das Innere des Atoms.

Als Geburtstag jener Technik, von der wir sprechen, dürfen wir mit Fug und Recht wohl jenen Tag des Jahres 1747 bezeichnen, an dem in Berlin der Director und Chymicus, der königlich preußischen Akademie der Wissenschaften ordentliches Mitglied, *Andreas Sigmund Marggraf*²⁾, das Mikroskop benutzte, um zu erweisen, daß die von ihm untersuchten Rüben richtigen Zucker enthielten. Dieser Blick in das Mikroskop ist der Ausgangspunkt der Rübenzuckerindustrie, die 1931/32 eine Weltproduktion von 8,8 Millionen t Rohzuckerwert erreichte. Und nun hören Sie, was *Beausobre*, der Herausgeber des zweiten Bandes der „Chymischen Schriften“ *Marggrafs*, gerade zu dessen Versuchen, „einen wahren Zucker aus verschiedenen Pflanzen, die in unseren Ländern wachsen, zu ziehen“, zu sagen hat. Er schreibt 1767 im Vorwort über die Zuckerabhandlung: „Es hat sich nun freylich leicht einsehen lassen, daß man durch Anbau dieser Pflanzen, so stark er auch sein möchte, niemals es dahin bringen könnte, den fremden Zucker gänzlich zu entbehren.“

Warum ich das anführe? Nun gewiß nicht, um den guten *Beausobre*, der sich ja durch die Herausgabe der Schriften *Marggrafs* auf alle Fälle ein großes Verdienst erworben, etwas am Zeuge zu flicken. Nein, aber diese Art Urteile sind kennzeichnend für das Gebiet der Technik, die wir hier betrachten. Es ist ihr Schicksal, daß sie den Wunschtraum, den die erfolgreiche Spurensuche nach etwas Seltenem erweckt, erfüllen soll. Begreiflich das Kopfschütteln der Skeptiker, der Neunmalweisen, bis dann am Ende oft sogar ein unverwendbarer Überschuß oder Abfall entsteht.

Nochmals aber müssen wir uns *Marggraf* zuwenden, der auch für die andere Seite der Technik im Gebiet der fünften Dezimale ein geschichtlich wie praktisch gleich wichtiges Beispiel liefert. Heute wissen wir, daß die Phosphore ihre Eigenschaft, im Dunkeln zu leuchten, dem Einbau von Spuren eines Fremderregers verdanken. Auch *Marggraf* beschäftigte sich mit ihnen in der „Abhandlung derjenigen Steine, welche mit Kohle calciniert, so weit gebracht werden, daß sie, nachdem sie einige Zeit dem Licht ausgesetzt gewesen, im Dunkeln leuchten“. Er vermutete auch, diese Steine könnten von einem anderen leuchtenden Wesen das Licht anziehen. Auch hier ist *Marggraf* der Prophet unserer Technik, sogar einer, der auch in seinem Vaterlande etwas galt. *Marggraf* war aber auch der erste, der die Flammenfärbung zur Erkennung von Salzen verwandte und so Natrium- und Kaliumverbindungen unterschied³⁾.

So durften wir es uns leisten, den Lichtspuren *Marggrafs* für einige Minuten zu folgen, denn jetzt können wir in Riesenschritten durch ein Jahrhundert und von Berlin nach Heidelberg eilen.

¹⁾ Chymische Schriften, 2. Bd., Berlin 1767; auch Ostwald: Klassiker, Nr. 159.

²⁾ Dannemann: Die Naturwissenschaften u. ihre Entwicklung, Bd. 4.

„Spektralanalyse mit dem Ruhm einer großen neuen Geisteserrungenschaft und ‚Alt-Heidelberg, Du Feine‘, sind eine Zusammengehörigkeit, die — soviel auch schon darüber hingegangen ist — unvergessen ist, und es wohl auch bleiben wird.“ Für die Richtigkeit dieser Behauptung hat nicht nur *Robert Bunsen* die Bürgschaft übernommen, sondern auch der, der diese Worte schrieb, *Lenard*⁴⁾.

In der Sitzung der königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin verlas am 10. Mai 1860 *Du Bois-Reymond* die Arbeit *Bunsens* „Über ein neues, dem Calcium nahestehendes Metall“. Einleitend erwähnt *Bunsen* die Spektralanalyse, um dann fortzufahren: „Da die Empfindlichkeit dieser Spektralreactionen groß genug ist, um noch wenige Hunderttausendstel, ja Millionstel eines Milligramms der Alkalien und alkalischen Erden nebeneinander mit Sicherheit zu erkennen, so ist es uns gelungen, einzelne, bisher für selten gehaltene Stoffe als in der Natur allgemein verbreitete nachzuweisen.“ Neben dem Kalium, Natrium und Lithium konnte *Bunsen* wirklich noch ein viertes und fünftes Alkalimetall darstellen, „Rubidium und Caesium, die sich neben jenen dreien in der Mutterlauge verschiedener Soolwasser auf spektralanalytischem Wege mit großer Leichtigkeit nachweisen lassen, obgleich in mehreren Kilogrammen des erwähnten Materials kaum einige Milligramme der neuen Metalle enthalten sind“..... In einer in Poggendorffs Annalen erfolgten Veröffentlichung von *Kirchhoff* und *Bunsen* erfahren wir auch, „daß es der Verarbeitung von mehr als 44000 kg Dürckheimer Soolwasser und 150 kg Lepidolith bedurfte, um die nur wenige Gramm betragende Menge des für die Untersuchung erforderlichen Materials zu erhalten“. Gewonnen wurden 9,237 g Chlорrubidium und 7,272 g Chlорcaesium.

Heute sind Rubidium und Caesium technische Werkstoffe, die z. B. bei der Herstellung von Gasentladungslampen in Anwendung kommen. Das Caesium wird für die Alkali-Photozellen verwendet: Es ist das Bestreben der Technik, möglichst rotempfindliche Photokathoden zu erstellen, da so der reiche Anteil unserer Temperaturstrahler an Rotstrahlung ausgenutzt werden kann. Hierfür bietet das Caesium die günstigsten Aussichten⁵⁾. Rohstoff für die Gewinnung ist der in Deutschland ja reichlich vorhandene Carnallit, der durchschnittlich 0,2%_{oo} Rubidiumchlorid und 0,002%_{oo} Caesiumchlorid enthält und nach *Feit* und *Kubierschky* durch häufiges Umkristallisieren, nach *G. Jander*⁶⁾ durch Behandlung mit Silicomolybdänsäure in Rubidium und Caesium zerlegt wird.

In allerjüngster Zeit haben sich die Osramwerke veranlaßt gesehen, die Eigenschaften von Caesium- und Rubidiumsulfid, -selenid, und -tellurid zu untersuchen, was durch *A. Bergmann*⁷⁾ geschah. Die lichtelektrische Wirksamkeit des Caesiumoxyds beruht auf einem geringen Überschuß an freiem Metall.

Mir persönlich erscheint die Analogie zu den Phosphoren interessant und vielleicht beachtenswert. Der Brunnengeist der Dürckheimer Quellen, den *Bunsen* bei seinen ersten spektralanalytischen Versuchen entschleierte, steht heute als lichtelektrischer Zauberer im Dienste von Wissenschaft und Technik; vielleicht ist er gerade dabei, die photographische Meßmethode bei spektroskopischen Arbeiten durch eine lichtelektrische zu ersetzen, vielleicht schaltet er eben zur Freude der Schulkinder eine Rolltreppe ein, zählt und prüft Zigarren, verhütet ein Eisenbahnunglück oder einen Einbruch! Technik der fünften Dezimale!

Als Schüler *Bunsens* erwarb *Auer* in Heidelberg den Doktorhut. Da durch den Klang dieses Namens nicht nur in Fachkreisen die Gedankenverbindung „Seltene Erden“

hergestellt wird, so seien einige Worte dem „Seltenen“ gewidmet. Ein Blick auf die Kurve der Häufigkeit des irdischen Vorkommens der Elemente, die wir *Noddack*⁸⁾ verdanken, belehrt selbst die, die es noch nicht wußten, daß die seltenen Erden gar nicht so selten sind, und daß es viele Elemente gibt, die weit weniger häufig vorkommen. Die Häufigkeit der Elemente ist abhängig von Kern-eigenschaften, mit dem Begriff der Seltenheit sind menschliche Wertungen verknüpft. Das läßt sich am besten am Beispiel des Goldes zeigen.

Die Technik der fünften Dezimale wird den Wunschtraum nach dem Golde, nach dem alles drängt und an dem (angeblich) auch alles hängt, nach meiner Meinung nicht erfüllen. Wir wissen es ja, das Gold liegt auf der Straße, und das Gold ist auch im Meerwasser enthalten. Nach einer allerdings irrgen Berechnung gleich 8 Milliarden Tonnen. Das war die Schätzung von *Arrhenius*. Sehr genaue Untersuchungen, die an Bord des deutschen Forschungsschiffes Meteor durchgeführt wurden, ergaben, daß man den Goldgehalt des Meerwassers etwa um das Tausendfache überschätzt hatte. Aber auch 8 Millionen statt 8 Milliarden Tonnen Gold hätten ja wohl genügt, um selbst den Goldhunger des Feindbundes zu stillen, unter dessen auch große Geister verwirrendem Druck diese Goldsuche vorgenommen wurde. Man kam zu dem Ergebnis, daß der Goldgehalt des Meeres nicht gewinnbar sei, da er, statt, wie angenommen, 6 Tausendstel Gramm, durchschnittlich pro Tonne nur 6 Millionstel Gramm betrage. Ich unterstelle aber einmal, man könnte das Gold auf irgendeine Weise aus dem Meere herausholen. Die Folge hiervon wäre bei einigermaßen richtiger Propaganda ein sehr schnelles Vergehen des „Goldhungrers“. Denn technisch ist das Gold heute nicht so wichtig, wie es der Fiktion entspricht, Wertmesser der Wirtschaft zu sein. Ein unbeständiger Maßstab ist unbrauchbar, wertlos, und beim Gold ließe sich die heute schon sehr schwer zu verteidigende Fiktion nicht aufrechterhalten, wenn die „Golddecke“ um den Goldgehalt des Meeres „streckbar“ würde.

Das Gold dürfte kaum Gegenstand der echten Technik der fünften Dezimale werden. Denn sie setzt die echte Seltenheit voraus.

Eine „Wissenschaft der fünften Dezimale“ würde sich um jeden Stoff kümmern, der selten vorkommt. Die Technik interessiert sich für einen selten vorkommenden Stoff nur dann, wenn er auch seltene, anderswo nicht vorkommende wertvolle Eigenschaften in sich birgt. Wir Techniker würden wenig befriedigt sein, wenn es hieße, eine schöne Frau sei etwas Seltenes. Unser Interesse würde aber sofort erwachen, wenn es hieße, eine Frau sei selten schön. Die Technik der fünften Dezimale hebt den einen, den mengenmäßig gemeinten Seltenheitswert auf, was nur dann möglich und lohnend ist, wenn der andere, auf technische Brauchbarkeit gestützte Wert gewonnen und „verwertet“ wird.

So gesehen, führen auch heute noch die seltenen Erden ihren Namen mit vollem Recht.

Spektralanalyse, Bunsenbrenner, Bunsenelement, die Kenntnis der *Bunsenschen* Arbeiten „über Erbinerde und Yttererde“, und „über die Erscheinungen beim Absorptionspektrum des Didyms“, das war das geistige Gepäck *Auers*, als er Heidelberg verließ, um nach Wien zurückzukehren; dazu noch als persönliche Gabe *Bunsens* eine Handvoll Mineralien.

So wurde *Auer* zum Entdecker von Elementen, zum Erfinder des Gasglühlichts, der Metallfadenlampe, des Pyrophormetalls, zum Schöpfer einer Industrie der seltenen Erden, die wohl die bedeutendste chemische Technik im Bereich der fünften Dezimale genannt werden kann. Staunenswert, wie hier in einer Persönlichkeit sich reiner

⁴⁾ Lenard: Große Naturforscher.

⁵⁾ Z. techn. Physik 12, 649 [1931]; 16, 184 [1935].

⁶⁾ Z. anorg. allg. Chem. 194, 38 [1930].

⁷⁾ Ebenda 281, 269 [1937].

⁸⁾ Naturwiss. 18, 757 [1930].

Forschergeist mit dem die Bedürfnisse des praktischen Lebens erfassenden Techniker, dem zähen Willen und der Organisationskunst des Betriebsmannes vereint. Er übertrug feinste Laboratoriumsarbeit in den rauen Großbetrieb, der nun jährlich Hunderte von Tonnen⁹⁾ an Stoffen liefert, nach deren Spuren man bisher mit vieler Mühe suchte. Während die Preise von schwindelnden Höhen nicht sanken, sondern stürzten, stiegen die Dividenden in einer im Wirtschaftsleben wohl einzig dastehenden Weise, um allerdings in neuerer Zeit in die Region von Dezimalen der ursprünglichen Zahlen zurückzugehen. Hier versinnbildlicht sich die Technik der fünften Dezimale. Die mengenmäßige Seltenheit wird aufgehoben, die frei gewordene Wertigkeit im wirtschaftlichen „selten“ Guten fest verankert.

Sie werden es mir sicherlich danken, wenn ich hier auf ein weiteres Eingehen auf Glühstrumpf, Metallfadenlampe und Feuerzeugsteine verzichte. Nur eines muß ich zur Ehrenrettung *Beausobres* noch erwähnen. Selbst der Freund und Studiengenosse *Auers*, Dr. *Hans Heger*, schrieb in der „Pharmazeutischen Post“¹⁰⁾, als ihm *Auer* seine ersten Glühstrümpfe zeigte, „dieses Material (die seltenen Erden) würde jedoch von vorneherein wegen seiner Kostbarkeit jeden ernstlichen Gedanken an eine Verwendung in größerem Maßstab ausschließen“. Selbst *Bunsen*¹⁰⁾ schüttelte bedenklich den Kopf, als ihm *Auer* von seinem Glühstrumpf Mitteilung machte und meinte: „Das scheine doch höchst unwahrscheinlich, daß die Oxyde sich in so kohärenter Form gestalten ließen“. Sie sehen, die Skepsis steht eben immer an der Wiege der Technik der fünften Dezimale.

Weit weniger bekannt als die Verwendung der seltenen Erden als Lichterzeuger sind sie als Bahnbrecher des Sonnenlichtes. Cer ist heute ein viel gebrauchtes Entfärbungsmittel für Glas; Cer, Neodym und Praseodym haben als Färbemittel ihren Weg in die Kunstglasindustrie gefunden. Durch Ausnutzung der spektralen Eigenschaften dieser Erden werden Schmucksteine geschaffen, die an Glanz und Lichtbrechung so manchen Edelstein übertreffen. Aber das Neodymglas hat noch eine besondere Aufgabe. Man hat bisher Brillen getragen, um schärfer zu sehen, das heißt, die Gestalten, die Formen besser wahrzunehmen; das genügt heute nicht mehr, wir wollen, ja, es gibt sogar Fälle, wo wir es müssen, auch die Farben richtig und scharf erkennen. Vielleicht wäre auch *Goethe* der Brille gegenüber freundlicher gewesen, hätte er durch Neophanglas die Welt in richtigen Farben und ohne Blendung betrachten können. Daß dem Thorium eine wichtige Aufgabe als Katalysator bei der Gewinnung künstlichen Benzins zufällt, soll nicht unerwähnt bleiben.

*Crookes*¹¹⁾ hat einmal die Mineralien der seltenen Erden als die kosmische Rumpelkammer angesprochen. Wie oft kommen die Lumpensammler, die der Volksmund als „Naturforscher“ bezeichnet, aus unseren Rumpelkammern mit Schätzen beladen, von deren Vorhandensein wir keine Ahnung hatten. Wie nun erst, wenn echte Naturforscher in kosmische Rumpelkammern vordringen, um ihre Geheimnisse an den Tag zu bringen. Als Werkzeug nahmen sie die schon erwähnten Stoffe, die im Dunkeln leuchten, deren Zugehörigkeit zur Technik der fünften Dezimale wir schon erwähnten, mit, und entdeckten eine bisher unbekannte Welt von Strahlen und strahlenden Stoffen, Röntgenstrahlen und Radium.

Die Technik, die *Auer* zur Gewinnung der seltenen Erden geschaffen, ermöglichte es auch, daß man daran denken konnte, Radium zu fabrizieren. Das erste Ausgangsmaterial war bekanntlich die Joachimsthaler Uranpechblende. Hier wurde die Pechblende seit 1853 gefördert und auf Uranfarben zur Glas- und Porzellanfärbung ver-

arbeitet. Aus zwei Waggons der Rückstände gewannen die *Curies* ihr erstes Material. 10000 kg dieser Rückstände wurden auf Veranlassung der Wiener Akademie der Wissenschaften der *Auerschen Fabrik* in Atzgersdorf bei Wien überwiesen. Hier wurden sie aufgearbeitet, was, wie aus dem ersten Bericht der Radiumkommission der Akademie¹²⁾ hervorgeht, zwei Jahre erforderte und etwa 3 g Radium ergab. Auch in Joachimsthal wurde 1908 der Betrieb aufgenommen und aus 7000 bis 10000 kg Erz 1 g Radium gewonnen. Die Produktion erreichte in den ersten Jahren höchstens 2 g; heute 15 g jährlich. Nirgends wird der Einfluß der Technik der fünften Dezimale auf die Förderung der Wissenschaft so deutlich wie hier, wo allerdings die Wirtschaftsseite fast ausschließlich durch das höchste Gut, die Gesundheit des Menschen, gegeben ist.

*Otto Hahn*¹³⁾ gliederte mit der Entdeckung des Mesothors der Erzeugung der seltenen Erden einen neuen Zweig der Technik der fünften Dezimale an, der gerade für Deutschland besondere Bedeutung hat. Die Welt stand kopf — es gab Stoffe, die aus sich heraus, ohne Zufuhr äußerer Energie, α -, β - und γ -Strahlen aussandten, die das durch Jahre, Dezzennien, Jahrtausende fortsetzen konnten. Ja, es stellte sich heraus, daß die Alpha-Strahlen nichts anderes waren als der Sonnenstoff, das Helium, das man nach seiner Entdeckung im Sonnenspektrum auf der Erde suchte, aber erst nach 27 Jahren fand. Dieses ausgestrahlte Helium mußte also durch Elementumwandlung entstanden sein. Verständlich, daß man bei der Aufbereitung von Monazitsand, des Rohstoffes für die Thoriumfabrikation, auch Helium in kleinsten Mengen gewinnt. In der Luft findet es sich in der Konzentration $5,6 \cdot 10^{-8}$, in weit höheren Konzentrationen in manchen Mineral- und Erdgasquellen. Technisch wird Helium durch Abkühlung von Naturgas auf etwa 150° unter Null gewonnen, wobei sich alle Gase bis eben auf das Helium verflüssigen. Man erhält so Helium von 98 % Reinheit. Der Bedarf für Luftschiffe hat hier, neben der Verwendung für Leuchtröhren, die wirtschaftliche Seite der Technik geliefert. Die amerikanische Heliumerzeugung soll jährlich 750000 m³ betragen haben, aber auf 200000 m³ eingeschränkt worden sein.

Das Helium, selbst ein Kind der Kälteindustrie, hat auf dem Gebiet der Erreichung tiefster Temperaturen sich sehr verdient gemacht. Es hat dazu verholfen, $0,7^{\circ}$ absolut zu erreichen. Jetzt aber mußte, wollte man noch tiefer vordringen, ein neuer Weg versucht werden. *Debye*¹⁴⁾ und etwas später, unabhängig von ihm, *Berkeley* schlugen vor, durch adiabatische Entmagnetisierung von Gadoliniumsulfat, das mit Hilfe von flüssigem Helium möglichst tief vorgekühlt ist, extrem tiefe Temperaturen herzustellen. So hat *de Haas* mit Cerfluorid $0,13^{\circ}$, mit Ceräthylsulfat $0,08^{\circ}$ und zuletzt, wie gestern Prof. *Debye* hier mitteilte, mit Aluminiumchromalaun $0,0034^{\circ}$ absolut erreicht. Ein wunderbarer Erfolg!

Die Feststellung, daß die seltenen Erden sich durch ihr magnetisches Verhalten unterscheiden, hat *Stefan Meyer* 1899 in einer Veröffentlichung in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie der Wissenschaften¹⁵⁾ gemacht. Hier findet sich im Anschluß an den Hinweis, daß Er_2O_3 etwa viermal so stark magnetisch ist wie Fe_2O_3 , folgende recht interessante Bemerkung: „Wäre Erbium als reines Metall in gleichem Maße stärker magnetisch als Eisen, wie es die Oxyde sind, und berücksichtigt man, daß das spezifische Gewicht nur etwa $\frac{2}{3}$ desjenigen von Eisen ist, so ließen sich aus Erbium Dynamomaschinen und andere Apparate bauen, die sich bei gleicher Leistung auf etwa $\frac{1}{8}$ des Gewichtes derjenigen aus Eisen reduzieren würden.“ Ein heliumgefülltes Luftschiff, das mit Hilfe von licht-

⁹⁾ Böhm: Verwendung der seltenen Erden.

¹⁰⁾ Sedlacek: Biographie *Auers*.

¹¹⁾ Crookes: Genesis der Elemente.

¹²⁾ S.-B. Akad. Wiss. Wien Abt. IIa 117, 619 [1908].

¹³⁾ Chemiker-Ztg. 61, 22 [1937].

¹⁴⁾ Debye, Z. techn. Physik 15, 499 [1934].

¹⁵⁾ S.-B. Akad. Wiss. Wien Abt. IIa 108, 869 [1899].

elektrischen Zellen aus seltenen Metallen Betriebsenergie aus Sonnenstrahlen den Erbiummaschinen zuführt, wäre ein für den Techniker der fünften Dezimale selten schöner Wunschtraum.

Butterbrote fallen immer auf die bestrichene Seite. Und so bin auch ich über Radium und absoluten Nullpunkt mit meinem Luftschild wieder glücklich im Gebiet der seltenen Erden gelandet. Ja, man kann heute schon ganz sicher auf dem gut gepflegten Boden dieser Erden landen. Denn viele Forscher haben die von ihnen ausstrahlenden Kräfte dazu benutzt, aus diesem Zauberland einen wissenschaftlichen Ordnungsstaat zu schaffen. Diese Elemente, die gleichsam an die Grenzen des periodischen Systems verbannt waren, sind heute richtig eingegliedert, auch die Herstellung der inneren Ordnung ihres Atombaus ist besorgt. Über das neu gewonnene Land gleiten die Pflüge, geführt, um nur einiges zu nennen, von *Brukl¹⁶*, *Jantsch¹⁷*, *Klemm¹⁸*, *Noddack¹⁹*, und bringen reichlichen Jahresartrag.

Als Beispiel für die Anzeichen eines Fortschreitens technischer Anwendungen kann ich mitteilen, daß man heute in der Lage ist, Thoriummetall von 98% Reinheit zu liefern, und zwar zu einem Preise, der die gewerbliche Verarbeitung ermöglicht. Versuche mit dem reinen Thoriummetall haben ergeben, daß es sich beim Legieren mit Aluminium, Nickel usw. vergütend auswirkt und die Korrosions- und Zunderfestigkeit verbessert. Zusätze von 0,5% erscheinen ausreichend.

Bei der Betrachtung der Verwendungsgebiete ist auffallend die bisherige geringe Ausbeute auf dem Heilmittelgebiet. Das dürfte vor allem seinen Grund darin haben, daß das Wort „selten“ in seiner falschen Auslegung zu Überlegungen führte, die hinderlich waren. Zu wirklicher Bedeutung ist bisher nur das Cer gelangt, das als Oxalat in vielen Arzneibüchern Aufnahme fand, und im Peremesin, das ein kolloid- bzw. komplexlösliches Ceroxalat darstellt, ein Mittel gegen See-, Luft- und Eisenbahnkrankheit, sowie gegen Schwangerschaftserbrechen liefert.

Da wir gerade bei biologischen Dingen sind, werden Sie vielleicht fragen, ob hier nicht auch auf das ungeheuer wichtige und interessante Gebiet der Biokatalysatoren, der Vitamine, Hormone, Enzyme und Fermente, eingegangen werden sollte, die ja auch alle in äußerster Seltenheit und Verdünnung vorkommen. Es wäre sicherlich reizvoll, z. B. den Spuren *Pasteurs* nachzugehen, der uns als der Erforscher kleinster Lebewesen der fünften Dezimale erscheint, der aber zu seinen Beobachtungen immer wieder durch die Bedürfnisse des praktischen Lebens angeregt wurde. Mißerfolge bei der Herstellung von Kartoffelsprit veranlaßten ihn zu Studien über die Fermentation, und der große dänische Bierbrauer *Jacobsen*, der seine Fabrik auf Grund der *Pasteurschen* Studien einrichtete, erwarb durch diesen geschickten Ausbau der Technik der fünften Dezimale ein so großes Vermögen, daß er sowohl dem *Pasteurschen* Institut reiche Mittel zuwenden konnte als auch seiner Vaterstadt Kopenhagen ein Museum der Künste stiftete. Als eine Krankheit der Seidenraupe die blühendste Industrie Südfrankreichs zu stören drohte, erkannte *Pasteur*, daß kleinste Organismen die Ursache waren. Seine Studien bewirkten eine Revolution in der Medizin, indem er die Mikroben, Mikroorganismen der fünften Dezimale, als Überträger der ansteckenden Krankheiten feststellte und deren Verbreitung durch Zerstörung des Samens verhinderte.

Doch wir sprechen von „chemischer Technik im Gebiet der fünften Dezimale“, und auch hiervon kann ich Ihnen nur wenige Beispiele bringen. Die Wunder des Organischen gehören nicht zu unserem Thema, abgesehen davon, daß

Sie aus berufenerem Munde noch über diese Dinge werden sprechen hören. — Also zurück zum Thema!

Crookes hatte recht mit seiner Bemerkung über die kosmische Rumpelkammer; man kann schon manche Schätze in ihr entdecken, besonders dann, wenn man neue Werkzeuge zur Verfügung hat. Der Gadolinit ist solch ein kosmischer Rumpelkammer-Bestand, ein neues Werkzeug lieferte die Röntgenspektroskopie, die industrielle Rumpelkammer bildete die „Eisensau“, Rückstände bei der Mansfelder Kupferschieferverarbeitung, die Entdecker waren einerseits das Forscherehepaar *Noddack¹⁹*, andererseits *W. Feit²⁰*. Sie wissen schon, ich spreche vom Rhenium. Noch vor zwölf Jahren war Rhenium sozusagen nichts anderes als eine Lücke im periodischen System, dann einige Linien auf einer photographischen Aufnahme, heute sind nicht nur die Erde, sondern auch der Kosmos danach durchforscht, 1800 Mineralien auf Rhenium untersucht; über 200 Arbeiten geben uns wissenschaftlichen Aufschluß über die Eigenschaften eines Elementes, dessen Konzentration meist um Größenordnungen unterhalb der Nachweisgrenze selbst mit Hilfe des Röntgenspektroskops liegt. Das Rhenium ist eines der seltensten stabilen Elemente, der Rheniumgehalt der meisten Mineralien liegt unter 10^{-7} , die Empfindlichkeitsgrenze der Röntgenspektroskopie bei etwa $2 \cdot 10^{-4}$. Heute wartet bereits eine Jahresproduktion von 120 kg Rhenium auf Absatz. Die Herstellung des ersten Gramms Rhenium durch *Noddack* gemeinsam mit der Firma *Siemens* kostete etwa 50000 RM., heute kostet das Gramm Rheniummetall 4,80 RM., ein Preis, der sich bei Abnahme von 250 g auf 4,20 RM. ermäßigt. Es gibt also sogar schon Preisnachlaß für Großabnehmer. Man muß seine Bewunderung teilen zwischen den Entdeckern und dem hervorragenden Techniker der fünften Dezimale, dem dies gelang. Rhenium hat das Rhodium bei der Herstellung von Thermoelementen z. T. ersetzt, in die Laboratorien hat es als Reagens seinen Einzug gehalten, in den Patenten der Glühlampenindustrie und als Katalysator spielt es eine Rolle.

Da ich die Verdrängung des Rhodiums durch Rhenium in den Thermoelementen erwähnte, so wäre es höchst ungerecht, nicht auch darauf hinzuweisen, daß auch dieses seltene Element in neuester Zeit seinen Einzug in die Technik gehalten hat. Als Ersatz des schwarz werdenden Silbers hat sich Rhodium in der Schmuckwarenindustrie einen Platz erobert, wird aber auch zur Rhodinierung wissenschaftlicher Instrumente benutzt.

Ich habe eingangs gesagt, die Technik der fünften Dezimale sei nicht nur das Konzentrat aus dem Nichts, sie sei auch das richtig verteilte Nichts. Diese Technik sei nicht nur die Kunst, das Nichts so lange anzureichern, bis daraus ein brauchbares Etwas geworden, sondern auch die, durch Hinzufügung einer Spur völlige Wesenswandlungen im Stofflichen zu vollbringen. Darum wenden wir uns nun zu jenen Schöpfungen unserer Technik, bei welchen das Hinzufügen einer „Spur“ eine völlige Wesensänderung herbeiführt, zu den Phosphoren oder Luminophoren.

Wir sind diesen Stoffen, die „im Dunklen leuchten“ — eine Redewendung, in der sich so recht das Staunen und die Verwunderung des Laien offenbart — schon bei *Marggraf* begegnet. *Lenard²¹* war es, der das Nichts in den Luminophoren entdeckte. Wir folgen von ihm gewiesenen Wegen, wenn wir heute etwa dem Zinksulfid eine Spur Kupfer zusetzen und hierdurch diesen Stoff zu einem Lichtspeicher und Lichtwandler machen. *Lenard* war es auch, der die erste Deutung des Wesens der Phosphore gegeben hat. Durch das eingestrahlte Licht wird — nach *Lenard* — vom Fremdstoffatom ein Elektron abgelöst, dieses wird in der Umgebung des Fremdatoms, d. h. im Grundmaterial,

¹⁶) Diese Ztschr. **50**, 362 [1937].

¹⁷) Österr. Chemiker-Ztg. **40**, 218 [1937].

¹⁸) Z. anorg. allg. Chem. **184**, 345 [1929], **187**, 29 [1930], **209**, 321 [1932].

¹⁹) S.-B. preuß. Akad. Wiss. **19**, 400 [1925].

²⁰) Diese Ztschr. **46**, 216 [1933].

²¹) Vgl. V. Klatt u. P. Lenard, Wied. Ann. **88**, 90 [1889].

festgehalten. Die Wärmebewegung veranlaßt das Elektron nach einiger Zeit zur Rückkehr, wobei ein Teil der aufgenommenen Energie wieder frei und als Lumineszenzlicht ausgestrahlt wird. Die Arbeiten von Schleede²²⁾, Tiede²³⁾ und Tomaschek²⁴⁾ ergaben neue Gesichtspunkte. Fußend auf diesen Arbeiten und auf eigenen Untersuchungen, gelangt Riehl²⁵⁾ in einer in diesen Tagen erscheinenden Arbeit zu einem weiteren Ausbau der Vorstellungen über das Wesen der Luminophore. So zeigt er insbesondere, daß der Erregungsvorgang sich nicht nur etwa in der Nähe des Fremdatoms, sondern an allen Atomen des Grundmaterials abspielt.

Wir sprechen von chemischer Technik. Uns interessiert nicht allein das Was und das Wie, sondern auch das Wozu. Wozu sollen die Phosphore leuchten? Sie leuchten nicht völlig spontan, sie leuchten nur, wenn sie von einer unsichtbaren Strahlung getroffen werden, etwa von Ultravioletts- oder Röntgenstrahlung. Jetzt wissen wir, wozu die Luminophore leuchten sollen! Sie sollen uns die Anwesenheit unsichtbarer, sonst nicht wahrnehmbarer Strahlungen anzeigen und diese Strahlungen in Licht umwandeln. Im Röntgenschirm machen sie uns das Röntgenschattensbild vom Inneren des Körpers sichtbar. In der Fernsehröhre verwandeln sie die Kathodenstrahlen in ein leuchtendes Bild.

Doch nicht nur als Anzeiger einer unsichtbaren Welt können wir die Luminophore verwenden. Im unsichtbaren Strahlungsgebiet können — unter Umständen — große Energien enthalten sein, und so dienen uns Luminophore auch als Lichtquellen. Eine gewisse Vorahnung dessen, wovon ich jetzt sprechen will, haben wir in den radioaktiven Leuchtfarben. Hier wird die Energie der α -Strahlen durch einen Luminophor in schwaches, aber ständiges Leuchten verwandelt. Wie steht es mit unseren heutigen Lichtquellen? Die Lichttechniker sind darüber im klaren, daß die elektrische Glühlampe mit ihrer heutigen Vollendung an die Grenzen des praktisch Erreichbaren gelangt ist. Trotz aller Fortschritte ist die Glühbirne ein recht unökonomischer Lichtspender, denn nur etwa 5% der gesamten zugeführten elektrischen Energie wird als Licht ausgestrahlt. Nun sind ja schon seit langer Zeit die Gasentladungslampen, wie die Neon-, Quecksilber- und Natriumlampe, bekannt. Sie geben etwa 20% der theoretisch möglichen Lichtausbeute. Das Wesen der Lichterzeugung bei der Gasentladung darf ich als bekannt voraussetzen und bis zu einem gewissen Grade jetzt auch das der Lichthervorbringung in den Phosphoren. Man könnte nun sagen, es lag nahe, diese beiden Lichterzeugungsarten miteinander zu verbinden. Dieser Gedanke ist jetzt verwirklicht. Nehmen wir als Beispiel die Quecksilberlampe. Die Hochdruckquecksilberlampe übertrifft an sich schon die Glühlampe an Lichtausbeute um 100—200%, aber ihr Licht ist durch den Mangel an Rot und Orange vielfach unbefriedigend. Dabei zeigt diese Lampe eine starke Ausstrahlung von Ultravioletts, was, beleuchtungstechnisch gesehen, unwirtschaftlich ist. Es galt daher, einen Phosphor zu finden, der das Ultravioletts in das fehlende Orange und Rot verwandelte. Einen solchen fanden Riehl und Wolf²⁶⁾ im Zinksulfid, das einen Zusatz an Cadmium und Kupfer enthält. Andere Phosphore verwandeln das fahle, bläuliche Licht der Quecksilberleuchtröhren in ein helles Weiß. Die Lichtausbeute solcher weißer Leuchtröhren ist zweimal so groß wie die von Glühlampen gleicher Wattzahlen, wovon Sie sich, wie ich hoffe, am Schluß meiner Ausführungen überzeugen können. Auch das bekannte rote Neonlicht kann man durch Phosphore in Gelb umfärben²⁷⁾. Nicht ohne Absicht

habe ich das Wort umfärben gebraucht. Wir sind nämlich gerade durch die Phosphore nicht nur zu einer chemischen Lichtreinigung, sondern als Gegenstück auch zu einer optischen Färberei gelangt, was mir, wie Sie jetzt sehen sollen, auch künstlerisch nicht ganz belanglos erscheint²⁸⁾.

Was α -Strahlen für die radioaktive Leuchtfarbe, ist das Ultraviolett für die Fluoreszenzfarbe. Sie ergibt hohe Lichtintensitäten und gesättigte Farbqualitäten, die keinem anderen uns bekannten Werkstoff eigen sind. Während z. B. der Maler bei der Ölfarbe gezwungen ist, die Farbe sehr dick aufzutragen (pastos zu arbeiten), um tiefe Farbwirkungen zu erreichen, gibt die Leuchtfarbe bei ganz dünnem Auftragen Töne von vollklingender Farbigkeit her, wie sie mit Körperfarbe überhaupt nicht erzielbar sind. Bei allen Körperfarben besteht die Schwierigkeit, leuchtende Farbtöne von genügender Lichtintensität zu erreichen. Wurde durch irgendein Verfahren die Sättigung des Farbtons vertieft, so erfolgte damit zwangsläufig eine Verdunkelung, d. h. die Farbe wurde zwar intensiver in ihrem Farbton, verlor jedoch an Helligkeit, d. h. an Leuchtkraft. Durch die Leuchtfarbe können wir jedoch hohe Lichtintensitäten und farbige Sättigung gleichzeitig erzielen. Bis auf das schwere Karminrot lassen sich alle Farbtöne aus anorganischen Fluoreszenzstoffen herstellen, die im Tageslicht weiß oder wenigstens annähernd weiß wirken. Daher kann man in Festräumen die lichte Tageswirkung beibehalten und abends im gleichen Raum ohne irgendwelche Änderungen, allein durch Einschalten des UV-Lichtes, die phantastischsten Farbeffekte erzielen. Der Bühne wachsen neue Möglichkeiten für Ausstattung und Verwandlung der Szenen, wie auch außerordentliche Bereicherung der Kostümausstattung zu.

Farbe ist ein flüchtiger Schimmer aus der Wirklichkeit des „Ur“. Wohl muß sie Stoff sein, aber sie darf nicht an der Materie haften. Ein Strahl von Licht muß sie sein, Schwingung einer Welle. Jede Farbe will die Materie, an der sie haftet, überwinden, wie der Ton den Körper flieht, dem er entstammt.

Ein gewöhnlicher Stoff, das Zinksulfid, ist mit gewöhnlichem Kupfer versetzt worden. Entstanden ist aber nicht einfach verunreinigte Materie, sondern eine neue Ganzheit, eine leuchtende Farbe! Die chemische Technik ist mehr denn ein Wühlen in toter Materie, ein Umkramen stofflicher Rumpelkammern. Technik ist ein Streben nach neuen Ganzheiten. Vielleicht der unbewußte Versuch einer Nachahmung der wunderbaren organischen Ganzheiten, die uns die Natur zeigt.

Meine Damen und Herren! Wenn ich heute in der nüchternen Art eines Technikers versucht habe, Ihnen einige Kostproben der fünften Dezimale im Bereich der chemischen Technik zu geben, so möchte ich das Schlußwort dem Chor der Ameisen überlassen, welche der große Sohn dieser Stadt die für unser heutiges Thema prophetischen Worte sprechen läßt²⁹⁾:

„In solchen Ritzen
Ist jedes Bröselein
Wert zu besitzen.
Das Allermindeste
Müßt Ihr entdecken
Auf das Geschwindeste
In allen Ecken.
Allemsig müßt Ihr sein,
Ihr Wimmelscharen.
Nur mit dem Gold herein!
Den Berg laßt fahren³⁰⁾.“

[A. 84.]

²²⁾ Diese Ztschr. 48, 277 [1935].
²³⁾ Ber. dtsch. chem. Ges. 65, 364 [1932].
²⁴⁾ S.-B. Ges. Beförd. ges. Naturwiss. Marburg 63 [1928].
²⁵⁾ Ann. Physik [5] 29, 636 [1937].
²⁶⁾ „Das Licht“ 6, 41 [1936].
²⁷⁾ A. Rüttenauer, ebenda 7, 1. Heft [1937].

²⁸⁾ Während dieser Worte leuchtete hinter dem Vortragspult ein Vorhang auf, der überraschend die neuartige Wirkung veranschaulichte, die ein Künstler durch Verwendung dieser ultravioletts erregbaren Leuchtfarben erzielen kann. ²⁹⁾ Goethe, Faust, 2. Teil.
³⁰⁾ Am Schluß des Vortrages wurde der Saal durch auf dem Podium angebrachte Lumineszenz-Leuchtröhren erhellt, die ein strahlend weißes Licht ergeben.